



TITLE:

Über die Schrumpfung des Glasfadens beim Erhitzen

AUTHOR(S):

Sawai, Ikutaro; Morisawa, Otokichi

CITATION:

Sawai, Ikutaro ...[et al]. Über die Schrumpfung des Glasfadens beim Erhitzen. 化学研究所學術報告 1929, 1

ISSUE DATE:

1929-11-30

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/74507>

RIGHT:

Über die Schrumpfung des Glasfadens beim Erhitzen.

VON IKUTARO SAWAI und OTOKICHI MORISAWA.

Mit 7 Figuren im Text.

I. Einleitung.

Nach TAMMANN¹⁾ schrumpfen die Glas- oder Metallamellen beim Erhitzen durch Oberflächenspannung, deren Werte durch ihn und andere²⁾ durch Berechnung ermittelt wurden. Nach So³⁾ schrumpft nur der einmal luftgekühlte Glasfaden, aber nicht der im elektrischen Ofen langsam abgekühlte. Diesen Unterschied erklärt So dadurch, daß beim ersten Fall das Glas Abschreckungsanstrengung erhält, die beim letzten Fall mangelt. So scheint uns, daß es zwei Arten der Schrumpfungen gibt, 1. Schrumpfung durch Entspannung bei niedriger Temperatur und 2. dieselbe durch Oberflächenspannung bei höherer Temperatur. Da wir gelegentlich stark schrumpfende Bor-Bleigläser in einer anderen Untersuchungsreihe hergestellt haben, stellten wir damit die folgenden Versuche an mit dem Zwecke, diese Frage entscheiden zu können.

II. Experimenteller Teil.

1. Versuchsmaterialien.

Als Versuchsmaterialien wurden fünf stark schrumpfende und niedrig schmelzende Gläser mit der Zusammensetzung, wie in der Tabelle 1 angegeben, benutzt.

Tabelle 1.

Nr.	B ₂ O ₃ %	PbO %	(SiO ₂ Al ₂ O ₃) %	B ₂ O ₃ Mol.
1	22,82	75,30	1,83	0,49
2	26,70	70,07	3,23	0,56
3	37,85	60,01	2,14	0,62
4	48,59	50,03	2,38	0,75
5	53,82	42,50	3,68	0,82

¹⁾ G. TAMMANN, Lehrb. d. Metallogr., 2. Aufl., 48.

²⁾ G. TAMMANN und R. TAMPFKE, Z. anorg. u. allg. Chem. 162 (1927), 1;
G. TAMMANN und H. RABE, Z. anorg. u. allg. Chem. 162 (1927), 17.

³⁾ M. So, Math. Phys. Soc. Japan, 1910, 9.

Jedes Glas wurde in einem Porzellantiegel geschmolzen; dann wurde ein Glasstab in den Schmelzfluß eingetaucht und durch rasche Hebung desselben wurde ein Faden von 3 m Länge erhalten.

Jeder Faden wurde dann durch Aufbewahrung in einem vorher geglühten Glasrohr vor Feuchtigkeit geschützt.

2. Die Beziehung zwischen der Schrumpfung des Fadens und der an ihm hängenden Last.

Vor der Messung wurde der Glasfaden an den beiden Enden zur Perle geglüht, und darauf wurden zwei Marken mit 140 mm Entfernung angebracht. Zwischen diesen Marken wurden 10 Messungen betreffs des Durchmessers gemacht, deren Mittelwert 0,08 mm in der Berechnung benutzt wurde.

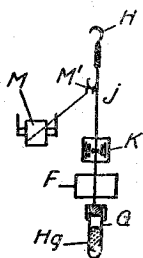


Fig. 1.

Die Erhitzung geschah im elektrischen Rohrofen, dessen Inneres mit Silberplatten wegen einer gleichmäßigen Temperaturverteilung umgeben war. Für die Belastung mit beliebigem Gewicht stellten wir einen Apparat her, wie ihn Fig. 1 darstellt, wo der durch einen geeigneten Mechanismus an der unteren Glasperle hängende Haken *H* ein Kapillarglas *J*, einen Kiel *K*, einen Flügel *F* und ein quecksilbergefülltes Glasrohr *G* trägt. Neben *J* wird auch der Spiegel *M* eingehakt. Dieser Apparat wurde in eine Thermosflasche, mit Salzwasser gefüllt, eingelegt. Das spezifische Gewicht des Salzwassers muß so reguliert werden, daß die Schwimmkraft des Apparates mit dem Gewicht des Spiegels im Gleichgewicht steht. Beim Versuche muß jedesmal der Nullpunkt eingestellt und das Quecksilber in der nötigen Menge in das Glasrohr eingefüllt werden. Die Belastung wog etwa 0,05 g (10 g/mm²) bis etwa 37 g (7,5 kg/mm²). Die Temperatur des Ofens, die an der Mittelstelle des Rohrs mittels des Nickel-Konstantan-Thermoelementes gemessen wird, steigt mit einer Geschwindigkeit von 1,25° pro Minute auf. Die Längenänderung des Fadens wird mittels Kathetometers abgelesen. Unter den so erhaltenen Resultaten finden wir die folgenden vier typischen Fälle, die graphisch in Fig. 2 dargestellt werden.

Von den 3 Knicken zeigt *a* den Beginn der Schrumpfung, *b* das Ende und *b'* den Beginn der Verlängerung.

Tabelle 2.

Last in g/mm ²	Temp. d. Beginns d. Schrumpfung in °C (= a)	Temp. d. Endes d. Schrumpfung in °C (= b)	Temp. d. Beginns d. Verlängerung in °C (= b')	Totalbetrag d. Schrumpfung in Skalenteilen
10	180	395	407	22,5
50	180	385	400	17,2
150	190	380	390	16,5
300	190	370	390	15,5
500	190	360	390	16,5
1000	224	350	370	9,0
3000	250	—	360	1,0

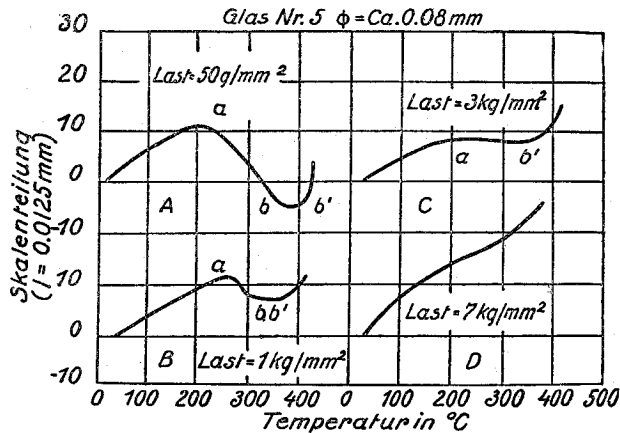


Fig. 2.

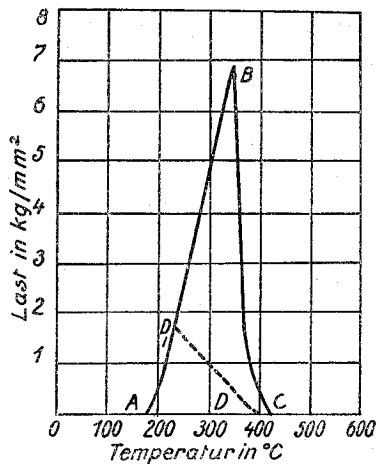


Fig. 3.

Tabelle 2 gibt die Beziehungen zwischen der Belastung und der Temperatur betreffs dieser 3 Knicke wieder. Auf Grund dieser

Tabelle gilt in Fig. 3 die Kurve AB für die Beziehung zwischen der Last und der Temperatur des Beginns der Schrumpfung, D_1D für die zwischen der Last und der Temperatur des Endes, und BC für die zwischen der Last und der Temperatur des Beginns der Verlängerung. Aus diesen Resultaten kann man ersehen, daß es drei verschiedene Fälle der Längenänderung nach der Größe der Belastung gibt; nämlich, 1. ist die Last leichter als D_1 , so schrumpft der Faden, wenn er eine bestimmte Temperatur erreicht; 2. ist die Last schwerer als D_1 und zwar leichter als B , so schrumpft er nicht mehr; 3. ist die Last schwerer als B , so beginnt er sich bei einer bestimmten Temperatur zu verlängern. Bei den von uns gebrauchten Gläsern erfährt man auch immer diese drei Arten der Längenänderung, es sei denn, daß die beobachteten Zahlen mit verschiedenen Gläsern nicht gleich sind.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Daten zusammengestellt, um die Lage der Längenänderung übersehen zu können.

Tabelle 3.

Nr.	B_2O_3 Mol.	Temp. des Beginns der Schrumpfung in $^{\circ}C$ Last = 10 g/mm ²	Temp. des Beginns der Verlängerung 10 g/mm ² in $^{\circ}C$	Temp. von B in $^{\circ}C$ ¹⁾	Last von B in $^{\circ}C$ ¹⁾	Totalbetrag der Schrumpfung in Skalenteilen Last = 10 g/mm ²
1	0,49	196	332	245	1,4	7,5
2	0,56	200	346	278	5,1	6,5
3	0,62	200	400	296	7,6	12,0
4	0,75	194	440	332	7,0	12,8
5	0,83	180	407	342	7,0	22,5

3. Bedingungen der Längenänderung.

Die erste auftretende Verlängerung ist die thermische Ausdehnung, die fast geradlinig mit der Temperatur wächst, bis sie zuletzt den maximalen Punkt erreicht. Unter diesem Punkt verhält sich die Längenänderung mit der Temperaturänderung umkehrbar; mit konstanter Temperatur bleibt sie aber ohne Veränderung. Bei der zunächst auftretenden Erscheinung der Schrumpfung kommt die Sache ganz anders aus, so daß die Schrumpfung bei konstanter ebenso wie bei sich verändernder Temperatur gleichfalls auftreten kann. Fig. 4 zeigt uns ein Beispiel der Schrumpfung, wo ein Faden etwa 2 Stunden lang bei derselben Temperatur im Zustand der Schrumpfung ist. Nachdem die Schrumpfung das Maximum erreicht hat, zeigt der Faden die beständige Verkürzung bei der Abkühlung

¹⁾ Graphisch extrapoliert. Durchmesser etwa 0,08 mm.

mit der Geschwindigkeit von $1,25^\circ$ pro Minute, wie die Kurve *a* in Fig. 5, und die Verlängerung bei der Erhitzung mit derselben Geschwindigkeit, wie die Kurve *b* in derselben Figur angibt.

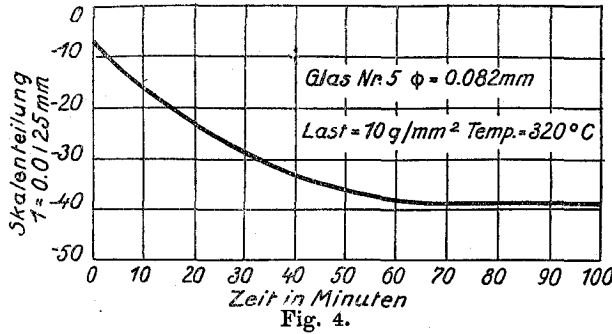


Fig. 4.

Den Totalbetrag der Schrumpfung und die Temperatur des Beginns der Schrumpfung beeinflusst der Durchmesser des Fadens, und zwar je größer der Durchmesser ist, desto kleiner wird der Totalbetrag und desto höher die Temperatur des Beginns der Schrumpfung. Die Temperatur des Beginns der Verlängerung wird aber fast gar nicht durch den Durchmesser beeinflusst. Man kann diese Beziehung durch einige Beispiele, wie in Tabelle 4 angegeben, leicht übersehen.

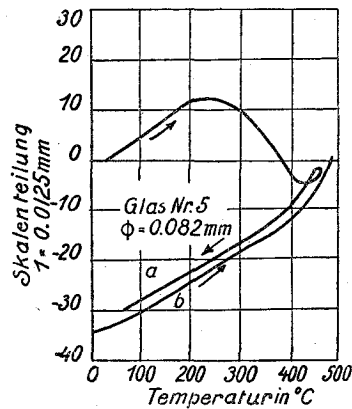


Fig. 5.

Tabelle 4.

Durchmesser in mm	Temp. d. Beginns der Schrumpfung in °C	Temp. d. Beginns der Verlängerung in °C	Totalbetrag der Schrumpfung
0,012	160	460	31,0
0,048	160	440	27,5
0,119	200	440	15,0
0,197	200	440	8,0
0,350	250	440	0

Glas Nr. 5.

Aus diesen Resultaten kann man schließen, daß der Temperaturbereich unterhalb des Erweichungspunktes, wo der luftgekühlte Glasfaden sich zu verlängern anfängt, sich in zwei Teile teilt;

nämlich in dem niederen Teil findet die umkehrbare thermische Ausdehnung und in dem höheren Teil die nicht umkehrbare Schrumpfung statt. Bemerkenswert ist auch, daß es beim ofenabgekühlten Faden solch eine Schrumpfung, wie So¹⁾ beobachtete, nicht gibt.

4. Bedingungen der Schrumpfung.

Die Ursachen der beobachteten Schrumpfung können liegen 1. in einer Verkleinerung des spezifischen Volumens infolge molekularer Zustandsänderung, 2. in dem Einfluß der Oberflächenspannung und 3. in einer rein mechanischen Spannung infolge der Fadenziehung. Wegen des sehr kleinen Durchmessers können wir die Spannung von der Querschnittsrichtung, die durch die ungleich-

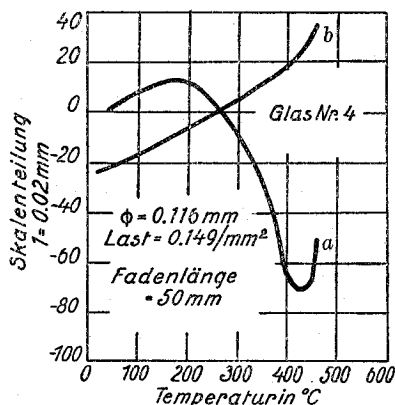


Fig. 6.

mäßige Abkühlung der äußeren und inneren Seiten des Stabes erfolgt ist, nicht in Betracht ziehen. Ist das spezifische Volumen des Glases bei höherer Temperatur größer als bei niedriger Temperatur, so muß das abgeschreckte Glas durch die Erhitzung schrumpfen. Durch dieses Phänomen können wir die Tatsache, daß die Schrumpfung sehr von der Last und dem Durchmesser abhängig ist, nicht erklären. Die Unabhängigkeit der Schrumpfung von dem Unterschied des spezifischen Volumens aber wurde durch folgende Versuche sicher bestätigt: Nachdem der Faden erstens durch Erhitzung mit der Geschwindigkeit von 3° pro Minute völlig geschrumpft und darauf für 1 Stunde bei 450° konstant gehalten war, wurde er durch rasches Herausnehmen aus dem Ofen abgeschreckt, und zweitens wiederum durch Erhitzung mit der Geschwindigkeit von 3° pro Minute erweicht. Die Längenänderung des Fadens wird durch die Kurve a (1. Fall) und b (2. Fall) in Fig. 6 graphisch dargestellt.

Aus diesen Resultaten können wir schließen, daß die Hauptursache der von uns beobachteten Schrumpfung nicht in dem Unterschied des spezifischen Volumens liegt.

¹⁾ M. So, l. c.

Auch unwahrscheinlich ist die zweite Ursache, weil die Temperatur des Beginns der Schrumpfung zu niedrig ist. Um die Tatsache sicher zu machen, stellten wir folgende Versuche an:

Nach dem Fall des Silberblatts von SCHOTTKY¹⁾ kann man den Wert der Oberflächenspannung, unter der Annahme, daß die Schrumpfung durch die Oberflächenspannung hervorgebracht wird, berechnen. Aus der Gleichung $\alpha = \frac{f}{2\pi r}$, wo f die Festigkeit, r den Radius des Fadens bei der Temperatur des Beginns der Schrumpfung bezeichnet, läßt sich die Oberflächenspannung α durch die Messung von f und r leicht berechnen. Vergleicht man diese Resultate mit denselben, die durch die anderen Methoden erhalten werden, so kann man schließen, ob die obige Annahme richtig ist oder nicht. So stellten wir einen Apparat her, der aus einem mit einem Piston versehenen Ölzylinder für die Belastung des Fadens, und einer Federwage für die Messung der Belastung, besteht. Mit diesem Apparate wurde die Zugfestigkeit des ofenerhitzten Fadens gemessen. Die Längenänderung des Fadens wurde mittels eines Kathetometers gemessen. Durch die Gewichtszunahme im Verhältnis von 5 g pro Minute, verlängert sich der Faden zuerst ziemlich stark, darauf weniger, dann wiederum stark, und zuletzt zerbrach er plötzlich. Die Längenänderung des Fadens wurde stärker mit der zunehmenden Temperatur, obwohl er nicht in dem Bewegungsbereich des Pistons zerbrach. Die beobachteten Werte sind immer sehr groß, wie klar aus einigen Beispielen in Tabelle 5 hervorgeht.

Tabelle 5.

Temperatur in ° C	Zugfestigkeit in kg/mm ²	Bemerkungen
24	11,75	zerbrach
280	11,08	„
360	9,00	„
400	7,00	zerbrach nicht
430	1,28	„ „

Aus diesen Messungen läßt sich der Wert der Oberflächenspannung zu 2—3 kg/cm berechnen. Da dieser Wert nicht sicher ist, so maßen wir den Wert der Oberflächenspannung im plastischen Zustand nach GRIFFITH²⁾ wie folgt: der 30 mm lange Glasfaden

¹⁾ H. SCHOTTKY, Gött. Nachr. Math.-phys. Klasse 1912, 32.

²⁾ A. A. GRIFFITH, *Proc. Roy. Soc. A* 221 (1920), 163.

wurde im elektrischen Ofen mittels der Glasperlen horizontal gehangen und dann an der Mittelstelle mit der Last von 0,589 g belastet; wenn er bis zum Erweichungspunkt erhitzt wurde, bog er sich wegen der Belastung. Nachdem wir die Temperatur für 1 Stunde konstant gehalten hatten, maßen wir den mit dem Faden eingeschlossenen Winkel durch ein Teleskop. Daraus wurden die Werte der Oberflächenspannung berechnet. Einige dieser Resultate werden in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6.

Temperatur in °C	407	443	484	532
Oberflächenspannung in g/cm	6,13	4,56	1,88	1,34

Glas Nr. 3.

Durch Extrapolieren dieser Zahlen zur Temperatur des Beginns der Schrumpfung bekommt man den Wert von etwa 14 g/cm.

Die große Abweichung zwischen beiden Messungen zusammen mit der Tatsache, daß die Schrumpfung irreversibel ist und durch langsame Abkühlung verschwindet, erlaubt uns zu vermuten, daß die Ursache der Schrumpfung in der im Faden sich befindenden Spannung liegt. Um ferner die Frage, bei welcher Temperatur die Schrumpfung durch die Oberflächenspannung stattfindet, beantworten zu können, wurde ein mit zwei Glasfenstern versehener elektrischer Muffelofen hergestellt. In der Mitte des Ofens wurde ein mit der Last von 0,0013 g belasteter etwa 4 mm langer Faden aufgehangen. Mit einer Linse wurde ein reales Bild des mit einer Lampe beleuchteten Fadens auf dem Objektisch des Mikroskops entworfen, und die Bewegung des Bildes wurde durch das Objektmikrometer gemessen. Bei einer aufsteigenden Temperatur mit der Geschwindigkeit von 1,25° pro Minute geschah zuerst eine Verlängerung und dann die Schrumpfung, und zwar setzt sie sich wegen der Last, die leichter als bei anderen Forschern genommen wurde, bis zu einer gewissen höheren Temperatur fort. Über dieser Temperatur blieb der Faden ohne Veränderung, dann trat die Schrumpfung wiederum plötzlich auf. Sie wurde stärker mit aufsteigender Temperatur, bis der Faden sich gewöhnlich zu einer, bei dem Glas Nr. 1 aber zu zwei Perlen zusammenzog. Wurde der Faden aber mit der schweren Last, das sind etwa 0,0067 g behangen, so zeigte er nach der Beendigung der Schrumpfung wiederum die Verlängerung, die

nach und nach mit steigender Temperatur stärker wurde, bis der Faden zerbrach. Fig. 7 stellt diese Verhältnisse graphisch dar. Wie man aus den Kurven ersieht, findet die Verlängerung in dem Temperaturbereich, wo fast keine Längenänderung mit der kleineren Last bemerkbar ist, statt.

Wenn die Oberflächenspannung mit der Last g bei der Temperatur des Beginns der Verlängerung, die nach der Beendigung der Entspannung stattfindet, im Gleichgewicht steht, so existiert dort die Beziehung $2\pi r\alpha = g$, wo α die Oberflächenspannung, r den Radius des Fadens bezeichnet. Mit dieser Beziehung kann man den Wert der Oberflächenspannung berechnen.

Diese Werte werden zusammen mit den Resultaten der Messung nach der GRIFFITH'schen Methode in Tabelle 7 zum Vergleich gegenübergestellt.

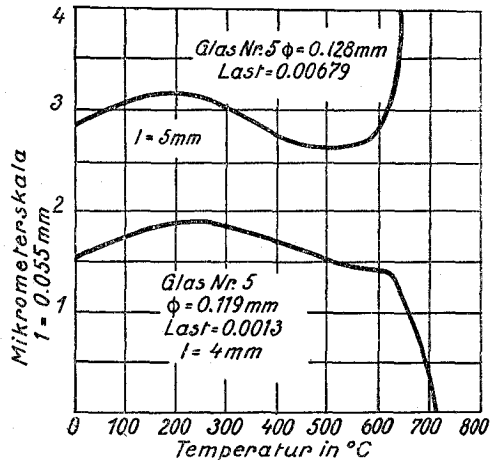


Fig. 7.

Tabelle 7.

B ₂ O ₃ Mol.	Temp. in ° C	Oberflächenspannung in g/cm	
		Nach der Temp. des Beginns der Verlängerung berechnet	Nach der GRIFFITH'schen Methode gemessen
0,49	437	1,04	1,42
0,56	480	1,20	1,66
0,62	532	1,43	1,88
0,75	575	1,42	1,84
0,82	570	1,71	2,11

Die Zahlen sind noch nicht genug übereinstimmend, aber sie lassen uns leicht vermuten, daß der Einfluß der Oberflächenspannung sich nach der Unterbrechung der ersten Schrumpfung erweist. Soweit es sich um unsere Gläser handelt, muß man schließen, daß die verschiedenen Temperaturen ihren Einfluß ausüben. Ob es mit den gewöhnlichen Gläsern auch der Fall ist, darüber wird in der nächsten Mitteilung berichtet.

III. Theoretischer Teil.

Ist das Glas zu flüssig, so zerbricht der Faden, bevor er noch nicht lang gezogen wird; ist es aber zu zäh, so zerbricht er auch, bevor er bis zu einem gewünschten Durchmesser reduziert wird. Außerdem ist der Durchmesser sehr von der Herstellungsgeschwindigkeit abhängig; nämlich je größer die Geschwindigkeit, desto kleiner der Durchmesser. Also ist es klar, daß man in dem sehr engen Zähigkeits- und Geschwindigkeitsbereich einen Faden von bestimmtem Durchmesser und beliebiger Länge ziehen kann. Bei der Fadenziehung in diesem zähen Zustand klebt das untere Ende des Fadens an dem in dem Tiegel geschmolzenen Glas, während sein oberes Ende mit dem Glasstab mit großer Geschwindigkeit emporgezogen wird. Außerdem ist der Durchmesser des Fadens so klein, daß seine Abkühlung vom geschmolzenen Zustand bis zu der gewöhnlichen Temperatur in einer kurzen Zeitdauer vollendet ist. Also muß die Spannung bei der Fadenziehung als eine dauernde Spannung in der Längenrichtung in dem Faden bleiben. Hinsichtlich der Spannung des luftabgekühlten Glasstabes von großem Durchmesser ist noch zu bedenken, daß es noch die Spannung in der Querschnittsrichtung gibt, die durch die ungleichmäßige Abkühlung der äußeren und inneren Seite des Stabes erfolgt ist. Diese zwei Spannungen kommen mit der Größe des Durchmessers umgekehrt aus, und zwar je kleiner der Durchmesser, desto größer die Spannung in der Längenrichtung und desto kleiner die in der Querschnittsrichtung; bei dem Glasfaden aber verbleibt nur die Spannung in der Längenrichtung. Nach der chemischen Zusammensetzung und den Herstellungsbedingungen des Fadens gibt es eine bestimmte Beziehung zwischen der Schrumpfung des Fadens und der an ihm hängenden Last. Diese Beziehung wurde schon in Figg. 2 und 3 graphisch dargestellt. Die Werte D_1 und B sind für einen Faden bestimmt. Außerdem sind die die Längenänderung beeinflussenden Faktoren die Zähigkeit η , die Last g , und die Spannung in der Längenrichtung S . Wir wollen folgende 3 Fälle erörtern:

1. Die Last ist leichter als D_1 . — Ist die Temperatur des Fadens noch niedrig, dann ist die Zähigkeit so groß, daß $S < \eta + g$. In diesem Temperaturbereich findet nur die thermische Ausdehnung statt. Mit ansteigender Temperatur wird die Zähigkeit nach und nach kleiner, so daß endlich $S = \eta + g$ wird. Bei dieser Temperatur fängt die Schrumpfung an. Wenn die Temperatur noch höher wird, so wird $S > \eta + g$. Infolgedessen setzt sich die Schrumpfung wegen

der immer kleiner werdenden Zähigkeit fort. Weil die Schrumpfung bei derselben Temperatur fort dauert, so muß dieser Totalbetrag l

sich aus der Gleichung $l = \int_{t_1}^{t_2} c dt$ ergeben. Hier bezeichnet c die

Geschwindigkeit der Schrumpfung bei einer bestimmten Temperatur, t_1 die Temperatur des Beginns der Schrumpfung, und t_2 die des Endes. Wegen der Schrumpfung wird die Spannung S nach und nach kleiner, und wieder wird $S = g \pm \eta$. In diesem Temperaturbereich findet fast keine Längenänderung statt, die bis zur Temperatur des Beginns der Verlängerung fort dauert, über welcher $S < g - \eta$ wird. Bemerkenswert ist, daß bei dieser Temperatur die Zugfestigkeit des Fadens noch ziemlich groß ist.

2. Die Last ist schwerer als D_1 , und zwar leichter als B . — Da die Schrumpfungsgeschwindigkeit c offenbar eine Funktion von $S - (\eta + g)$ ist, so muß die Schrumpfungsgeschwindigkeit immer kleiner und die Temperatur des Beginns der Schrumpfung immer höher mit der Zunahme der Last g werden. Liegt die Last zwischen den obigen beiden Grenzen, so wird die Geschwindigkeit so klein, daß der Faden in dem bestimmten Temperaturbereich fast keine Längenänderung aufweist.

3. Die Last ist schwerer als B . — In diesem Fall ist die Last immer so groß, daß $g > S + \eta$ ist, daher zeigt der Faden nur die Verlängerung während der Erhitzung.

Ist die Last kleiner als etwa 0,0067 g, so unterbricht sich die Schrumpfung einmal wegen der vollendeten Entspannung. In diesem Temperaturbereich ist $\alpha = g \pm \eta$, wo α die Oberflächenspannung bezeichnet. Wird die Temperatur noch höher, so wird $\alpha > g + \eta$, und dann findet die Schrumpfung wiederum statt. Diese Schrumpfung dauert an während der Erhitzung, bis der Glasfaden zur Glasperle umgeformt wird. Daher kann man vermuten, daß der luftabgekühlte Glasfaden beim Erhitzen durch die Spannung und auch durch die Oberflächenspannung schrumpft, während der im elektrischen Ofen entspannte Faden nur durch die Oberflächenspannung schrumpft. Ob diese zwei Ursachen bei derselben Temperatur erscheinen oder nicht, wird durch die Zusammensetzung des Glases und auch die Bedingungen bei der Fadenherstellung bestimmt. Es ist auch bemerkenswert, daß die Schrumpfung durch die Spannung noch bei der ziemlich großen Belastung (von etwa 500 g/mm²) erscheint, während die durch die Oberflächenspannung erzeugte nur bei der sehr kleinen

Belastung (von etwa $1,2 \text{ g/mm}^2$) bemerkbar ist. Weil die Entspannung in der Längsrichtung bei der Temperatur des Beginns der Schrumpfung anfängt, muß die Entspannung in der Querschnittsrichtung auch bei derselben Temperatur anfangen. Also ist es selbstverständlich, daß die Temperatur des Beginns der Schrumpfung mit der optisch gemessenen Temperatur des Beginns der Entspannung gut übereinstimmt.¹⁾

Zusammenfassung.

1. Die Beziehung zwischen der Schrumpfung der an dem Faden hängenden Last und der Zusammensetzung der Gläser wurde studiert.

2. Die Bedingung der Schrumpfung und deren Ursache wurde festgestellt.

3. Eine theoretische Betrachtung über den Gang der Längenänderung beim Erhitzen wurde angestellt.

Es ist uns eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. M. CHIKASHIGE für seine lebhaften Anregungen unseren herzlichsten Dank auszusprechen.

¹⁾ M. So, l. c.

Kyoto, *Institut für chemische Untersuchung, Universität zu Kyoto.*

Bei der Redaktion eingegangen am 27. April 1928.